

# 数十年スケールでの森林被覆および降雨特性の変化が表層崩壊の発生に及ぼす影響の検討-神戸市六甲山を対象として-

九州大学大学院 ○佐藤忠道  
九州大学 執印康裕

## 1. はじめに

森林被覆は機械的・水文学的補強によって表層崩壊の発生を抑制する (Masi et al. 2021)。この機能は、森林の伐採やその後の植生の回復に伴って変化することが明らかにされている (Imaizumi et al. 2008)。したがって、森林被覆の表層崩壊防止機能を実証的に精緻化するためには、森林被覆と斜面崩壊発生に関する多時期の情報が極めて重要である (Schmaltz et al. 2017)。

わが国では、全国スケールの森林被覆の成熟に伴って豪雨による土砂災害の被害が減少したことが示されている (Sato and Shuin 2023)。しかし、表層崩壊の誘因となる降雨特性を考慮して森林被覆の変化が表層崩壊に及ぼす影響を長期的に調査した研究は限られている。本研究では、数十年スケールでの森林被覆および降雨特性の変化が表層崩壊の発生に及ぼす影響を調査したので報告する。

## 2. 材料と方法

### 2.1 対象地および使用データ

対象地は神戸市六甲山系 (以下、「六甲山」とする) である。六甲山を対象地とした理由は、1) 最近の約 100 年で森林被覆が大きく変化していること、2) 豪雨を誘因とする表層崩壊・土石流が複数回発生していること、3) 森林、降雨、斜面崩壊に関するデータが充実しているためである。本研究では、六甲山の宇治川流域 (流域面積 3.00 km<sup>2</sup>) および新生田川流域 (流域面積 11.70 km<sup>2</sup>) を対象として検討を進める (図-1)。

降雨指標の算出には、神戸地方気象台で観測された 1897~2021 年の前 1 時間降水量のデータを使用した。ただし、1945 年はデータの大半が欠測であったため、検討からは除外した。また、2014 年の表層崩壊は局地的な集中豪雨によって発生したことから、有馬川観測所 (国交省) の 1 時間雨量データも併せて使用した。

森林被覆および斜面崩壊の調査には、国土地理院撮影の空中写真および六甲砂防事務所提供の平成 26 年台風第 11 号による崩壊状況のデータを用いた。また、森林被覆の調査には、国土地理院発行の 1896 年の土地利用分類図を崩壊地調査には、神戸・明石の災害履歴図 (水害・土砂災害) も使用した。

### 2.2 降雨指標

降雨指標には三段直列タンクモデル (Ishihara and Kobatake 1979) の一段目のタンク貯留量の再現期間を用いた。この降雨指標を用いた理由は、一段目のタン

ク貯留量の径時変化は表層崩壊の発生に対応すること、同一のタンクモデルを用いて斜面崩壊の誘因となった降雨特性を評価することで素因の違いが斜面崩壊発生に与える影響を抽出できる (執印ら 2019) ためである。本研究は、気象庁が土壌雨量指数の算出に用いるタンクモデルと同様のモデルを採用し、再現期間は 1897~2020 年 (1945 年を除く 123 年間) の各タンク貯留量の年最大値から L 積率法によって推定した一般化極値分布のパラメータを用いて算出した。

### 2.3 空中写真判読

森林被覆率は空中写真判読によって調査した。判読に用いるオルソフォトは、Metashape ver. 2.0.2 (Agisoft Metashape; Agisoft LLC, St. Petersburg, Russia) の標準的なフローに従って作成した。GCP は既設の砂防堰堤等の不動点に設置した。判読は、QGIS ver. 3.24.1 (QGIS.org 2024) 上で行った。

## 3. 結果および考察

### 3.1 斜面崩壊を発生させた降雨特性とその経年変動

図-2 に、神戸地方気象台における 1900 年から 2020 年までの各タンク貯留量の年最大値の再現期間を示す。図中の破線は、それぞれのイベントにおける斜面崩壊発生時のタンク貯留量の確率年を示している。図-2 より、1961 年の斜面崩壊を除いて、斜面崩壊は一段目のタンク貯留量の確率年を超過した時に発生したことが確認される。一方、二および三段目のタンク貯留量の確率年についてはそのような傾向は確認されない。執印ら (2019) は、本研究と同様の三段直列

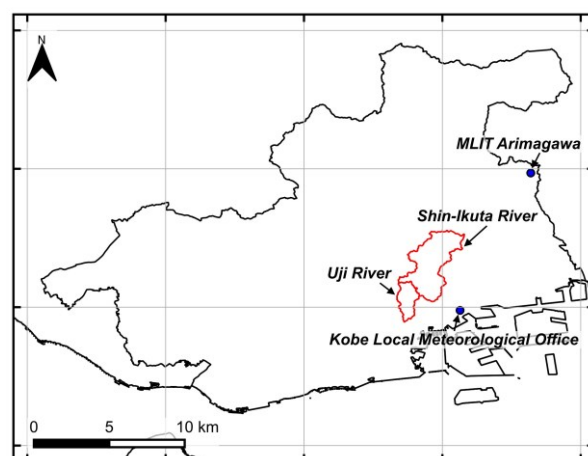


図-1 対象地の位置図. 赤線は対象流域の流域界を、青丸は雨量観測所の位置をそれぞれ示す。

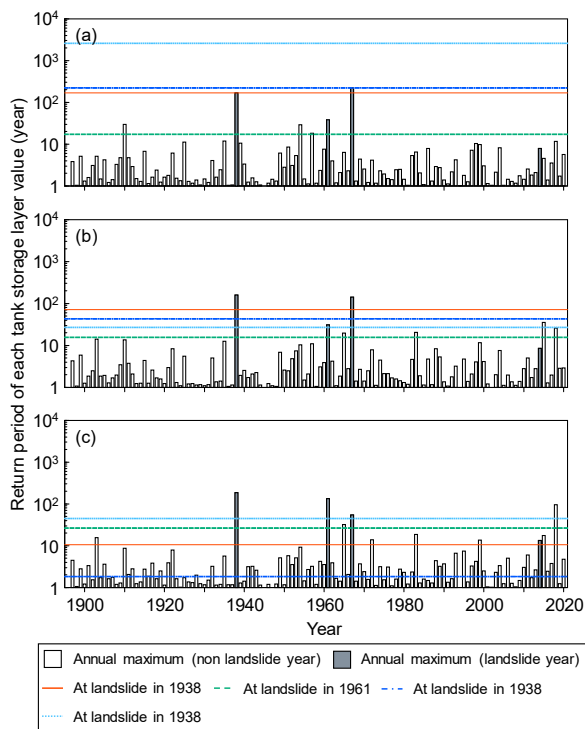


図-2 1897~2020 年の各タンク貯留量の年最大値の確率年。(a) 一段目のタンク, (b) 二段目のタンク, (c) 三段目のタンク。白色バーは斜面崩壊非発生年を, 灰色バーは斜面崩壊発生年をそれぞれ示す。赤色の実線は 1938 年の斜面崩壊発生時の確率年を, 緑色の破線は 1961 年の斜面崩壊発生時の確率年を, 青色の 1 点破線は 1967 年の斜面崩壊発生時の確率年を, 水色の点線は 2014 年の斜面崩壊発生時の確率年 (有馬川)をそれぞれ示す。

表-1 斜面崩壊イベントごとの対象流域の崩壊面積率

|      | Uji River | Shin-Ikuta |
|------|-----------|------------|
| 1938 | 16.60     | 2.46       |
| 1961 | 0.83      | 1.71       |
| 1967 | 3.36      | 2.59       |
| 2014 | 0.00      | 0.00       |

1938 年の崩壊面積は, 神戸・明石の災害履歴図 (水害・土砂災害)(国土交通省 2024b) を用いて算出した。

タンクモデルを用いて斜面崩壊の誘因となった降雨特性を評価し, 表層崩壊の発生は一段目のタンク貯留量の径時変化に対応することを明らかにした。災害報告等から, 本研究で対象とした斜面崩壊は表層崩壊であることが確認されており, 六甲山においても一段目のタンク貯留量の径時変化が表層崩壊の発生に対応していると考ええる。

### 3. 2 森林被覆の変化および崩壊面積率

図-3 に, 流域ごとの森林被覆率の変化を示す。1896 年の森林被覆率は, 宇治川流域で 37.2%, 新生田川流

域では 84.5%であった。1947 年以降は, 両流域とも森林被覆が回復し, 2013 年の森林被覆率は宇治川流域で 87.4%, 新生田川流域では約 96.9%となっていた。

表-1 に, 斜面崩壊イベントごとの対象流域の崩壊面積率を示す。宇治川流域の崩壊面積率は, 1938 年が最も大きく, 新生田川流域は 1967 年が最も大きい。ただし, 1938 年の崩壊面積は, 流下・堆積域も含まれていると考えられるため, 過大評価の可能性はある。

### 3.3 森林被覆および降雨特性の変化が表層崩壊の発生に及ぼす影響

対象地では, 数十年間で繰り返し斜面崩壊が発生していたが (表-1), 斜面崩壊発生の降雨閾値は異なる (図-2)。執印ら (2019) は, 三段直列タンクモデルを用いて降雨特性を同一基準で評価することで, 素因の変化が斜面崩壊発生に及ぼす影響を抽出できることを指摘している。対象地では, 数十年で土地利用の変化によって森林被覆率が大きく変化していることが確認された。したがって, 表層崩壊発生の降雨閾値の変化は, 主に森林被覆の変化に対応していると考えられる。今後は, 森林被覆の時系列でのより詳細な調査と他の素因の影響も考慮して検討を進める予定である。

#### 謝辞

国土交通省近畿地方整備局六甲砂防事務所には, 平成 26 年台風第 11 号による崩壊状況等のデータを提供していただいた。本研究は 2023 年度砂防学会若手研究助成および JST 次世代研究者挑戦的研究プログラム JPMJSP 2136 の支援を受けて行われた。記して深謝の意を表す。

#### 引用文献

- Ishihara and Kobatake (1979) *Bull. Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ.* **29**: 27–43.
- Imaizumi et al. (2008) *Earth Surf. Process. Landf.* **33**: 827–840.
- Masi et al. (2021) *Geosciences* **11**(5): 212.
- 国土交通省 (2024a) 土地利用分類図. 国土数値情報. [https://nlftp.mlit.go.jp/kokjo/inspect/landclassification/land/land\\_history\\_2011/pdf\\_landform\\_02.html](https://nlftp.mlit.go.jp/kokjo/inspect/landclassification/land/land_history_2011/pdf_landform_02.html). 最終閲覧 2024/4/4
- 国土交通省 (2024b) 災害履歴図. 国土数値情報. [https://nlftp.mlit.go.jp/kokjo/inspect/landclassification/land/land\\_history\\_2011/pdf\\_landform\\_03.html](https://nlftp.mlit.go.jp/kokjo/inspect/landclassification/land/land_history_2011/pdf_landform_03.html). 最終閲覧 2024/4/4
- Sato and Shuin (2023) *J. For. Res.* **28** (2): 106–110.
- Schmaltz et al. (2017) *Geomorphology* **290**: 250–264.
- 執印ら (2019) *砂防学会誌* **72** (1): 3–11.
- QGIS.org (2024) QGIS Geographic Information System. QGIS Association. <https://www.qgis.org/> 最終閲覧 2024/4/4